

Efisiensi Penyisihan Kandungan Warna Dan Cod Pada Air Limbah Industri Tekstil Dengan Penggunaan *Dicyandiamide-Formaldehyde Polymer*

Indra Arif Firmansyah

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas President

indraariffirmansyah@gmail.com

Abstract (English)

The efficiency of removing color and COD content from textile industry wastewater is carried out by adding the chemical dicyandiamide-formaldehyde polymer to the coagulation process. The research object was carried out at the coagulation and flocculation unit at PT XYZ WWTP. The existing combination of chemicals used only uses poly aluminum chloride and anionic polymer. In this experiment, the chemical dicyandiamide-formaldehyde polymer was added as a coagulant compound which functions to reduce color intensity and COD which previously did not meet environmental quality standards. The experiment was carried out using the jar test method. Experiments were carried out to find the optimum dose of each chemical used, including: dicyandiamide-formaldehyde polymer, poly aluminum chloride, and anionic polymer; look at the efficiency of removing color and COD content to meet environmental quality standards in accordance with Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014 Appendix XLVII Category 1 and company internal standards. The research method carried out was experimental with independent experimental variables, namely: dose of dicyandiamide-formaldehyde polymer (100, 150, 200, 250, and 300) ppm; poly aluminum chloride dosage (50, 75, 100, 125, and 150) ppm; as well as anionic polymer doses (1, 1.5, 2, and 2.5) ppm. The quality of waste water from the jar test process is then analyzed for pH, color and COD. From the experimental results, the optimum dose for each chemical used was obtained, namely: poly aluminum chloride dose of 100 ppm, dicyandiamide-formaldehyde polymer dose of 200 ppm, and anionic polymer dose of 2 ppm. Laboratory test results show that the pH value is 7.43, then the COD value has decreased by 99% from 716 mg/L to 10 mg/L and the color by 100%, namely from 6000 PCU to 10 PCU. The reduction of COD and color in textile wastewater has met environmental quality standards, namely Minister of Environment Regulation No. 5 of 2014 Appendix XLVII Category 1 where the maximum COD content is 100 mg/L and the color content has not been regulated in quality standards, but visually the waste water appears clear according to its aesthetic value and is suitable for being discharged into water bodies.

Article History

Submitted: 10 September 2023

Accepted: 19 September 2023

Published: 21 September 2023

Key Words

dicyandiamide-formaldehyde polymer, Color, COD, Wastewater, Textile Industry

Abstrak (Indonesia)

Efisiensi penyisihan kandungan warna dan COD pada air limbah industri tekstil dilakukan dengan penambahan bahan kimia dicyandiamide-formaldehyde polymer pada proses koagulasi. Objek penelitian dilakukan pada unit koagulasi dan flokulasi di IPAL PT XYZ. Kombinasi bahan kimia yang digunakan existing hanya menggunakan poly aluminium chloride dan anionic polymer. Pada percobaan ini dilakukan penambahan bahan kimia dicyandiamide-formaldehyde polymer sebagai senyawa koagulan yang berfungsi untuk menurunkan intensitas warna dan COD yang sebelumnya masih belum memenuhi baku mutu lingkungan. Percobaan dilakukan dengan metode jar test. Percobaan dilakukan untuk mencari dosis optimum setiap

Sejarah Artikel

Submitted: 10 September 2023

Accepted: 19 September 2023

Published: 21 September 2023

Kata Kunci

dicyandiamide-formaldehyde polymer, Warna, COD, Air Limbah, Industri Tekstil

bahan kimia yang digunakan di antara lain: dicyandiamide-formaldehyde polymer, poly aluminium chloride, dan anionic polymer; melihat efisiensi penyisihan kandungan warna dan COD agar memenuhi baku mutu lingkungan sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII Kategori 1 dan standar internal perusahaan. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan variabel bebas percobaan yaitu: dosis dicyandiamide-formaldehyde polymer (100, 150, 200, 250, dan 300) ppm; dosis poly aluminium chloride (50, 75, 100, 125, dan 150) ppm; serta dosis anionic polymer (1, 1,5, 2, dan 2,5) ppm. Kualitas air limbah dari proses hasil jar test kemudian dilakukan analisa pH, warna, dan COD. Dari hasil percobaan diperoleh dosis optimum pada setiap bahan kimia yang digunakan, yaitu: dosis poly aluminium chloride 100 ppm, dosis dicyandiamide-formaldehyde polymer 200 ppm, dan dosis anionic polymer 2 ppm. Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa nilai pH sebesar 7,43, lalu nilai COD mengalami penurunan sebesar 99% dari 716 mg/L menjadi 10 mg/L dan warna sebesar 100% yakni dari 6000 PCU menjadi 10 PCU. Penurunan COD dan warna pada air limbah tekstil telah memenuhi baku mutu lingkungan yaitu Permen LH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII Kategori 1 yang mana maksimal kandungan COD 100 mg/L serta kandungan warna belum diatur dalam baku mutu, namun secara visual air limbah tampak bening sesuai nilai estetika yang mana layak dibuang ke badan air.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, beban air limbah organik yang dihasilkan setiap hari berjumlah 883 ton, dimana industri tekstil menyumbang 29% dari jumlah tersebut [1]. Selama periode 2011-2014, terjadi peningkatan signifikan pada jumlah industri tekstil yang berlokasi di Jawa Barat, dengan jumlah pabrik yang bertambah dari 839 menjadi 1.062. Hal ini menunjukkan rata-rata tingkat pertumbuhan tahunan pada sektor industri TPT sekitar 8,21% [2]. Indonesia menanggung beban air limbah tertinggi yang dihasilkan oleh sektor tekstil dibandingkan negara-negara lain di Asia Tenggara [1].

Limbah cair selalu dihasilkan oleh pelaku industri tekstil. Limbah cair tekstil mengandung kontaminan berbahaya yang menimbulkan risiko signifikan jika dibuang ke lingkungan, khususnya di ekosistem perairan. Sistem produksi usaha ini memerlukan air dalam jumlah yang cukup besar. Mayoritas unsur yang ditemukan dalam limbah tekstil terdiri dari warna, terutama yang berasal dari sintetis [1].

Sektor tekstil menghasilkan limbah dengan tingkat warna dan COD (chemical oxygen demand) yang tinggi karena dominasi komponen organik dalam sumber air limbah, yang merupakan produk sampingan dari proses produksi. Proses pewarnaan dan pembilasan menghasilkan air limbah yang menunjukkan warna berbeda, disertai dengan peningkatan kadar Chemical Oxygen Demand (COD) dan unsur lain yang berasal dari pewarna yang digunakan dalam proses pewarnaan [3].

Mayoritas prosedur pengolahan limbah dilakukan secara fisika, kimia, dan biologi. Namun demikian, efektivitas metode pengolahan kimia, fisik, dan biologis yang umum digunakan sering

kali dianggap berkurang sebagai akibat dari semakin rumitnya limbah yang dihasilkan dan besarnya biaya operasional yang harus dikeluarkan [2].

PT XYZ adalah perusahaan penanaman modal asing (PMA) yang mengkhususkan dalam penyediaan barang tekstil, meliputi fastener, tali sepatu, pita elastis, easy tape, jacquard digital woven fabric dan pemrosesan kombinasi aksesoris untuk otomotif dan kedirgantaraan [4].

Perusahaan ini memiliki beragam produk, sehingga menghasilkan limbah cair yang menunjukkan kepadatan warna tinggi dan mengandung berbagai parameter seperti BOD, COD, warna, pH, suhu, turbiditas, serta kadar garam yang tinggi dan bervariasi.

Salah satu faktor yang perlu diperhatikan agar kualitas air limbah tekstil yang diolah sesuai baku mutu lingkungan, yakni efektifitas penggunaan kombinasi bahan kimia dalam proses pengolahan secara kimia. Pada proses koagulasi, penggunaan bahan kimia poly aluminium chloride (PAC) dan dicyandiamide-formaldehyde polymer efektif dalam membentuk flok-flok yang berasal dari suspended solid dan warna. Lalu pada proses flokulasi penggunaan flokulan anionic polymer dapat membantu penyatuan flok-flok kecil agar semakin besar dan turun ke dasar permukaan secara gravitasi. Efektifitas pengolahan tersebut bergantung pada kualitas produk, teknik aplikasi, dan penggunaan dosis yang tepat. Kombinasi penggunaan ketiga bahan kimia tersebut dapat ditinjau efisiensi penyisihannya fokus terhadap dua parameter yaitu kandungan COD dan warna. Efisiensi penyisihan sendiri digambarkan dalam nilai prosentase dimana nilai tersebut didapat dengan cara menghitung selisih konsentrasi inlet dikurangi konsentrasi outlet lalu dibagi konsentrasi inlet lalu dikali 100%.

Oleh karenanya, penelitian ini disusun dalam rangka memecahkan permasalahan yang dialami PT XYZ atas kondisi air limbahnya yang memiliki nilai COD sebesar 716 mg/L dan kandungan warna sebesar 6000 PCU [4]. Nilai-nilai tersebut belum memenuhi baku mutu lingkungan sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII Kategori 1 dan standar internal perusahaan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah experimental, sehingga peneliti melakukan percobaan secara langsung pada skala laboratorium. Metode pengumpulan data dilakukan secara observasi dan metode analisis yang digunakan yaitu metode penggambaran/deskriptip dari serangkaian variable penelitian.

Beberapa langkah yang dilakukan pada pengujian ini meliputi penentuan tujuan penelitian, lalu mengkaji studi literatur yang mendukung untuk percobaan skala laboratorium, dilanjutkan pengumpulan data baik primer dan sekunder, lalu dilakukan serangkaian percobaan dan analisis data yang mengarah pada kesimpulan. Berikut alur bagan metode penelitian yang dilakukan.

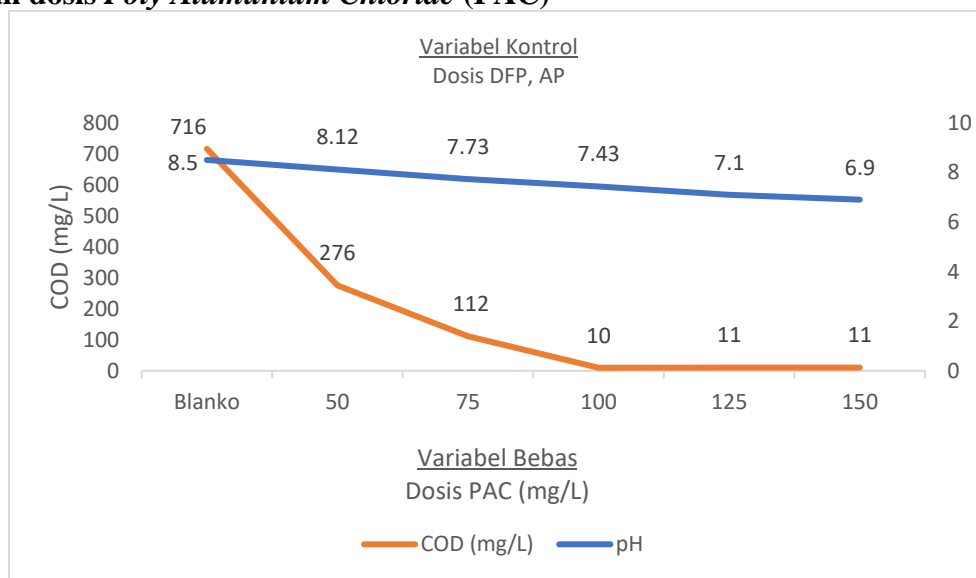
Gambar 2 merupakan alur sistem WWTP PT XYZ yang disadur langsung dari dokumen perusahaan. Sistem IPAL PT XYZ dapat dilihat pada lampiran 1a. Pada tahapan tangki aduk cepat merupakan titik dimana dilakukan pengambilan sampel air limbah yang dipergunakan sebagai uji coba skala laboratorium. Pengambilan sampel air limbah dilakukan sebelum memasuki proses koagulasi dan flokulasi.

HASIL DAN DISKUSI

Karakteristik air limbah

Air limbah yang diolah memiliki ciri-ciri berikut: (i) nilai pH 7,36; (ii) konsentrasi kebutuhan oksigen kimia (COD) sebesar 716 mg/L; dan (iii) intensitas warna 6000 PCU (*platina cobalt unit*). Tingkat pH limbah yang diolah memenuhi kriteria yang ditentukan, namun nilai COD limbah melebihi batas mutu maksimum sebanyak 11 kali lipat. Hal tersebut mengindikasikan tingginya cemaran bahan organik. Peningkatan tingkat COD menyebabkan berkurangnya kadar oksigen terlarut, sehingga menimbulkan dampak buruk pada ekosistem perairan. Warna limbah tampak secara estetika berwarna pekat merah kehitaman, sehingga akan mengganggu visualitas jika langsung dibuang ke lingkungan. Kandungan warna juga dapat menghambat masuknya sinar UV yang dibutuhkan untuk ekosistem perairan. Oleh karena itu, pentingnya warna sebagai karakteristik yang harus dipertimbangkan dalam pengolahan limbah, meskipun tidak termasuk dalam kriteria peraturan yang diuraikan dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII Kategori 1. Namun dalam standar internal perusahaan memiliki nilai maksimal 10 mg/L.

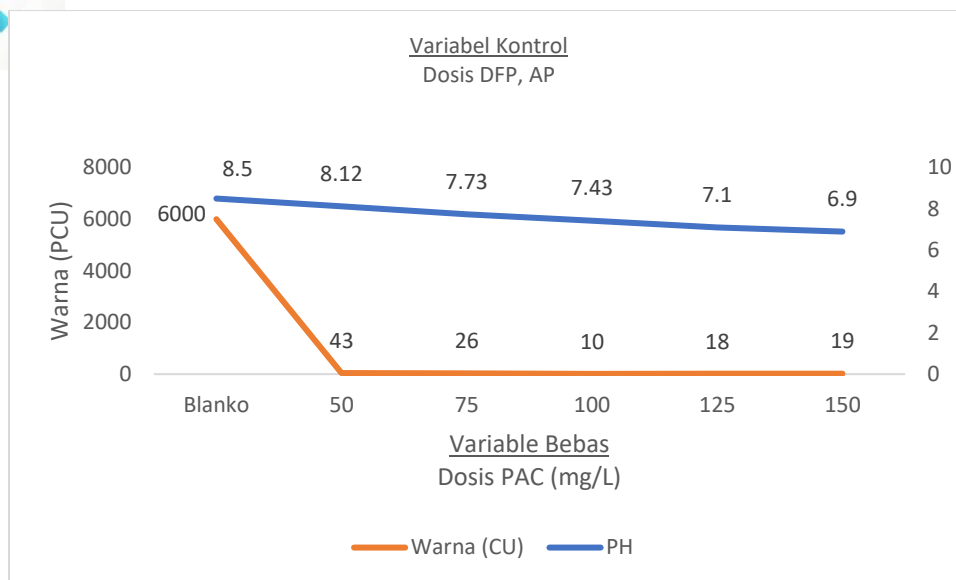
Penentuan dosis *Poly Alumunium Chloride* (PAC)



Gambar 3. Penurunan Kandungan COD

Gambar 4. menunjukkan penurunan kandungan COD setelah menambahkan berbagai dosis PAC. Adapun hasil perhitungan prosentase (%) efisiensi penyisihan merujuk persamaan 3.1. Pertama, penambahan 50 mg/L mengurangi COD dari 716 mg/L menjadi 276 mg/L (61%); kedua, penambahan 75 mg/L mengurangi COD menjadi 112 mg/L (84%); ketiga, penambahan 100 mg/L

mengurangi COD menjadi 10 mg/L (99%); dan keempat, penambahan 125 mg/L mengurangi COD menjadi 11 mg/L (98%).

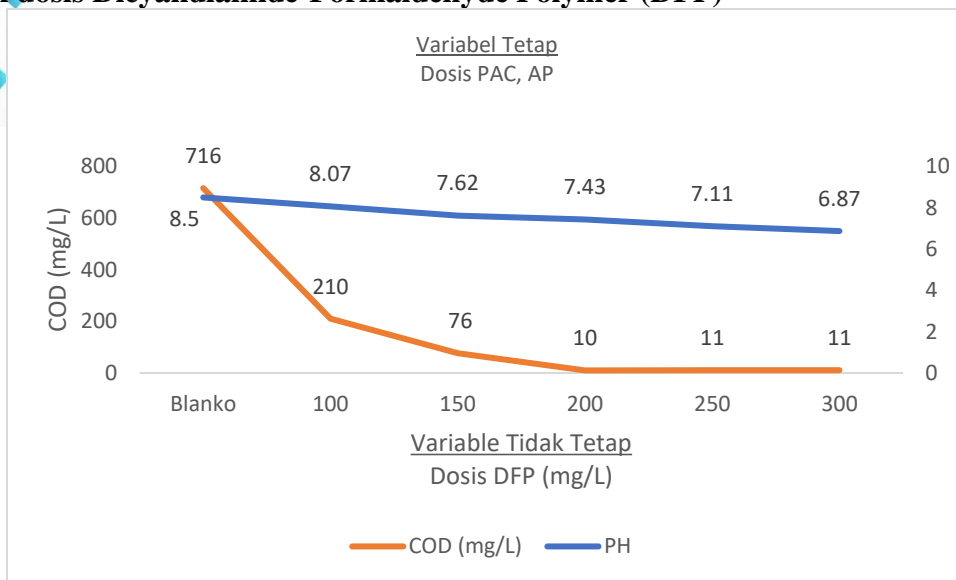


Gambar 4. Penurunan Kandungan Warna

Selain penurunan COD juga menyebabkan penurunan intensitas warna: pertama, dengan menambah 50 mg/L, intensitas warna 6000 PCU turun menjadi 43 PCU (99%); kedua, dengan menambah 75 mg/L, intensitas warna turun menjadi 26 PCU (100%); ketiga, dengan menambah 100 mg/L, intensitas warna turun menjadi 10 PCU (100%); dan keempat, dengan menambah 125 mg/L, intensitas warna turun menjadi 18 PCU (100%); Kelima, dengan menambah 150 mg/L, intensitas warna turun menjadi 19 PCU (100%).

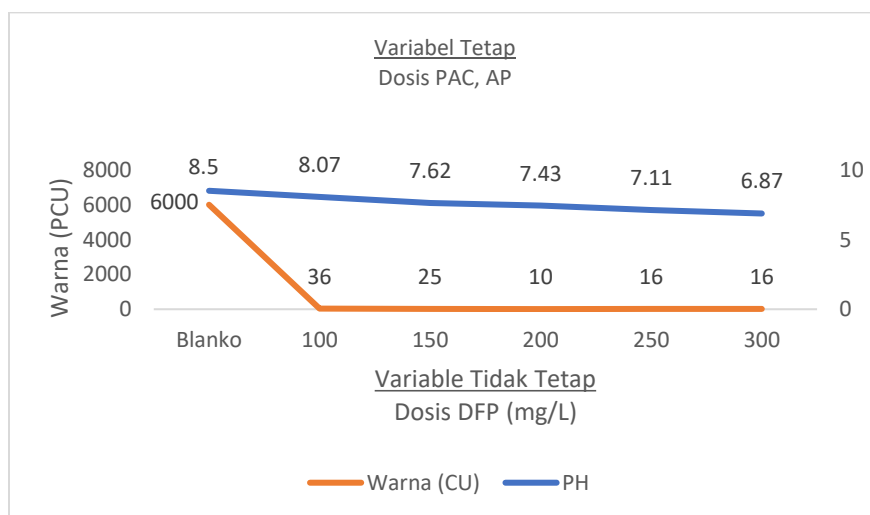
Nilai pH pada kedua grafik tersebut terlihat mengalami penurunan seiring dengan penambahan dosis setiap bahan kimia.

Penentuan dosis Dicyandiamide-Formaldehyde Polymer (DFP)



Gambar 5. Penurunan Kandungan COD

Gambar 6 setelah penambahan DFP, kandungan COD turun. Pertama, setelah menambah 100 mg/L, COD turun dari 716 mg/L menjadi 210 mg/L (71%); kedua, setelah menambah 150 mg/L, COD turun menjadi 76 mg/L (89%); ketiga, setelah menambah 200 mg/L, COD turun menjadi 10 mg/L (99%); dan keempat, setelah menambah 250 mg/L, COD turun menjadi 11 mg/L (98%).

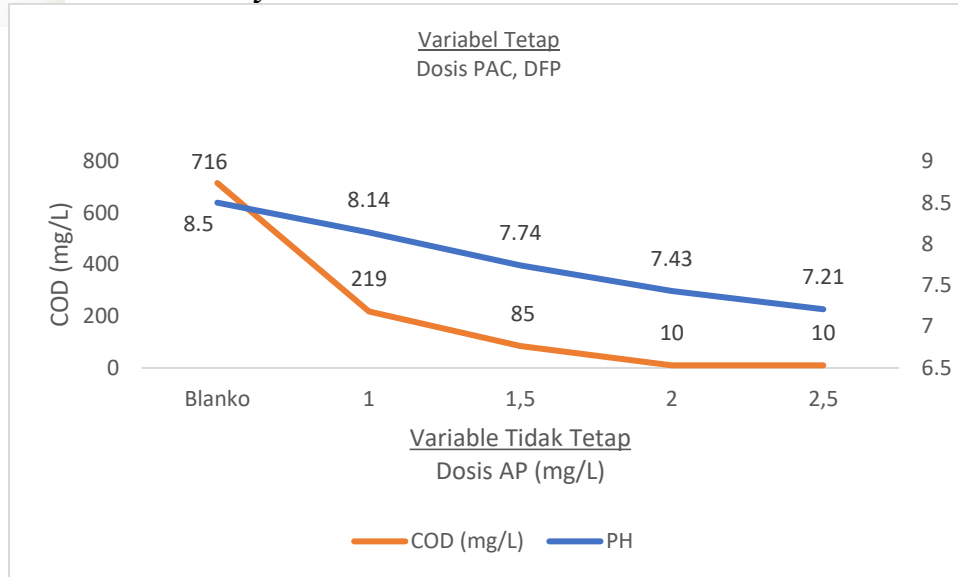


Gambar 6. Penurunan Intensitas Warna

Intensitas warna juga menurun seiring dengan kandungan COD. Pertama, dengan penambahan 100 mg/L, intensitas warna dari 6000 PCU turun menjadi 36 PCU (99%); kedua, penambahan 150 mg/L turun menjadi 25 PCU (100%); ketiga, penambahan 200 mg/L turun

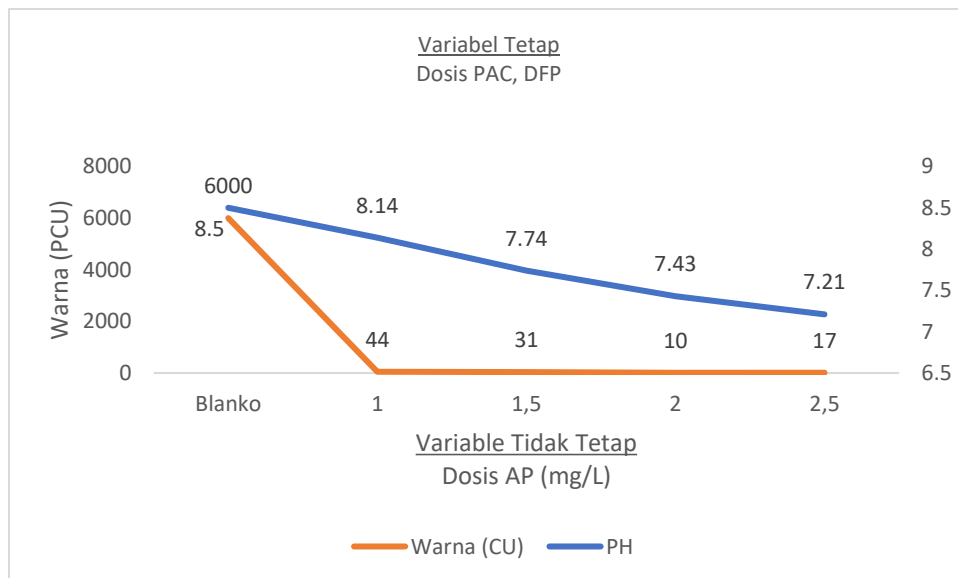
menjadi 16 PCU (100%); dan keempat, penambahan 250 mg/L turun menjadi 16 PCU (100%); kelima, penambahan 300 mg/L turun menjadi 16 PCU (100%).

Penentuan Dosis *Anionic Polymer*



Gambar 7. Penurunan Kandungan COD

Gambar 8 menunjukkan penurunan kandungan COD setelah penambahan *anionic polymer*. Pertama, penambahan 1 mg/L menyebabkan penurunan COD dari 716 mg/L menjadi 219 mg/L (69%); kedua, penambahan 1,5 mg/L menyebabkan penurunan COD menjadi 85 mg/L (88%); ketiga, penambahan 2 mg/L menyebabkan penurunan COD menjadi 10 mg/L (99%); dan keempat, penambahan 2,5 mg/L menyebabkan penurunan COD menjadi 11 mg/L (99%).



Gambar 8. Penurunan Intensitas Warna

Intensitas warna juga menurun seiring dengan COD. Pertama, saat penambahan 1 mg/L, intensitas warna dari 6000 PCU turun menjadi 44 PCU (99%); kedua, penambahan 1,5 mg/L turun menjadi 31 PCU (100%); ketiga, penambahan 2 mg/L turun menjadi 16 PCU (100%); dan keempat, penambahan 2,5 mg/L turun menjadi 17 PCU (100%).

Diskusi

Berdasarkan gambar 4 dan 5, dosis PAC 100 mg/L menunjukkan penurunan COD dan intensitas warna terendah. Pada dosis ini, efisiensi penyisihan COD turun menjadi 99% dan intensitas warna 100%, dan flok terlihat cukup besar untuk mengendap di dasar gelas beaker. Oleh karena itu, dosis PAC 100 mg/L digunakan untuk percobaan berikutnya dalam menentukan dosis bahan kimia lain. *Poly Aluminium Chloride* (PAC) merupakan koagulan yang terdiri dari kombinasi kompleks anorganik, ion hidroksil, dan ion aluminium.

PAC telah banyak digunakan sebagai koagulan untuk air limbah tekstil dan berbagai proses flokulasi dan koagulasi lainnya. Kemampuan pengikatan agregat yang kuat dan sifat muatan positif yang tinggi merupakan alasan di balik ini. Sebagai koagulan, PAC memiliki banyak manfaat, termasuk sangat baik dalam menghilangkan kekeruhan dan warna, memadatkan dan mencegah penguraian flok, membutuhkan sedikit alkalinitas untuk hidrolisis, tidak menjadi keruh jika digunakan terlalu banyak, dan hanya sedikit mempengaruhi pH.

Intensitas warna dan kandungan COD terendah didapat pada dosis *dicyandiamide-formaldehyde polymer* di 200 mg/L (lihat gambar 5 dan 6). Dari segi pengamatan air limbah yang semula merah pekat kehitaman berubah menjadi tampak bening dengan endapan merah kehitaman mengendap sempurna didasar gelas beaker. Hal tersebut menggambarkan pada proses koagulasi kombinasi antara PAC dan DFP sangat efektif dalam membentuk flok-flok kecil yang bersumber dari *suspended solid* dan warna limbah. Lalu dilanjut proses flokulasi membuahkan hasil yang semakin baik. *Dicyandiamide-formaldehyde Polymer* (DFP) merupakan sejenis koagulan yang sangat efektif dalam menurunkan intensitas warna dan COD pada air limbah berwarna, seperti di industri tekstil, *paper, tannery, printing, food effluent* dan lain-lain.

Selanjutnya, berdasarkan gambar 7 dan 8, intensitas warna dan kandungan COD terendah didapat pada dosis *anionic polymer* 2 mg/L. Dari segi pengamatan air limbah setelah proses koagulasi, flok-flok kecil banyak terbentuk dengan visual merah pekat kehitaman berubah menjadi flok-flok yang semakin besar dan berat perlahan turun ke bawah secara gravitasi diiringi dengan pengadukan lambat. Air limbah tampak bening diatas dengan pembentuk gumpalan flok besar dibawah. Peranan *anionic polymer* tergantung jenis bobot molekulnya. Pada penelitian ini *anionic polymer* yang digunakan memiliki bobot molekul sebesar 10 -11 juta Dalton. Semakin besar bobot molekulnya, berdampak pada dosis penggunaan yang semakin kecil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut kesimpulan yang diambil, diantaranya:

- 1) Penggunaan *dicyandiamide-formaldehyde polymer* terbukti sangat efisien dalam menurunkan kandungan warna dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada air limbah industri tekstil sesuai baku mutu lingkungan hidup yang tertuang dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, khususnya Lampiran XLVII Kategori 1, serta standar internal yang ditetapkan perusahaan.

- 2) Kombinasi dosis optimum dari penggunaan koagulan (*poly aluminium chloride*, *dicyandiamide-formaldehyde polymer*) dan flokulan (*anionic polymer*) dalam menurunkan kadar warna dan COD pada proses kimia di IPAL PT XYZ, yaitu:
 - a. Dosis *poly aluminium chloride* = 100 mg/L
 - b. Dosis *dicyandiamide-formaldehyde polymer* = 200 mg/L
 - c. Dosis *anionic polymer* = 2 mg/L
- 3) Kandungan warna berkurang secara signifikan dari 6000 PCU menjadi 10 PCU selama proses optimasi menggunakan metode jar test. Hasil ini menunjukkan peningkatan yang lebih baik dibandingkan dengan kandungan warna *existing* yang bernilai 1.200 PCU di bak akhir setelah proses flokulasi di instalasi pengolahan air limbah PT XYZ. Parameter COD mengalami penurunan yang signifikan, yaitu turun dari konsentrasi awal 716 mg/L ke konsentrasi akhir 10 mg/L. Nilai akhir ini jauh lebih baik dibandingkan konsentrasi COD yang terukur pada air limbah *existing* di bak akhir instalasi pengolahan air limbah, yang terukur dengan nilai 316 mg/L. Penurunan kandungan warna dan COD telah memenuhi kepatuhan terhadap standar kualitas lingkungan yang secara spesifik, menurut Permen LH No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII Kategori 1, kandungan COD maksimum yang diperbolehkan adalah 100 mg/L. Meski tidak ada aturan khusus mengenai kandungan warna dalam baku mutu, namun secara visual air limbah tampak jernih dan memenuhi kriteria estetika sehingga layak untuk dibuang ke badan air.

Saran

Pada dasarnya, metode jar test merupakan percobaan yang dilakukan dalam skala laboratorium sebagai modeling untuk menirukan kondisi yang sebenarnya dari proses pengolahan air limbah sehingga perlu dilakukan beberapa modifikasi untuk menyesuaikan dengan kondisi di lapangan. Namun penelitian ini bisa menjadi rujukan dalam menurunkan kandungan warna dan COD pada air limbah industri tekstil dengan mengkombinasikan di proses koagulasi penggunaan *dicyandiamide-formaldehyde polymer* dan *poly aluminium chloride*, serta di proses flokulasi dengan penggunaan *anionic polymer*. Hasil tersebut tentu harus memperhatikan teknik aplikasi, kualitas produk yang digunakan, hingga penggunaan dosis yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Bank. World Development Indicators Table 3.6: Water Pollution. The World Bank. USA(2012).
- [2] BPS (Biro Pusat Statistik) Propinsi Jawa Barat 2017, www.jabar.bps.go.id, diakses tgl. 17 Mei 2023.
- [3] Potter, Clifton., Soeparwadi, M., Gani, Aulia.,1994, *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia, Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu*. Jakarta: Project of The Ministry of State for The Environment.
- [4] PT XYZ, “Data Perusahaan,” 2022
- [5] Eckenfelder, W. Wesley, 2000. *Industrial Water Pollution Control*. New York: McGraw Hills Companies.
- [6] Thobanoglous, George, 2004. *Waste Water Engineering Treatment and Reuse*. New York: McGraw Hills Companies.

- [7] Isminingsih dan Djufri, Rasjid, 1979. *Pengantar Kimia Zat Warna*. Bandung: Akademi Sekolah Industri.
- [8] Freitas, T.K.F.S. Optimization of Coagulation-Flocculation Process for Treatment of Industrial Textile Wastewater using okra (*a.esculentus*) Mucilage as Natural Coagulant. *Industrial Crops and Products* 76, 538–544 (2015).
- [9] Verma, A.K., et. al. A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters. *Journal of Environmental Management* 93, 154–168(2012).
- [10] “Standar Nasional Indonesia 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian Koagulasi – Flokulasi dengan Cara Jar.”
- [11] H. Khalid, “3 Karakteristik Air Limbah yang Dapat Mencemari Lingkungan,”*Indonesia Enviroment & Energy Centre (IEC)*, Aug, 12, 2020
- [12] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Lampiran XLVII Kategori 1.
- [13] N. Hidayati, A. Setiawan, A. Erlan Afiuddin, and E. Yulianto, “Pengaruh Dosis Koagulan-Flokulan Dalam Menurunkan Kandungan Zinc Dan Fosfat Di Waste Water Treatment Plant (WWTP) PT POMI.”
- [14] Jager, D.D., et al. Colour Removal from Textile Wastewater Using a Pilot-Scale Dual-Stage MBR and Subsequent RO System. *Separation and Purification Technology* 135, 135 – 144 (2014).
- [15] Holkar, C.R., et. al. A Critical Review on Textile Wastewater Treatments: Possible Approaches. *Journal of Environmental Management* 182, 351 – 366 (2016).
- [16] Liang, C. Z., et al. Treatment of Highly Concentrated Wastewater Containing Multiple Synthetic Dyes by a Combined Process of Coagulation/Flocculation and Nanofiltration. *Journal of Membrane Science* 469, 306 315 (2014).
- [17] Suherman, D. dan N. Sumawijaya. Menghilangkan Warna dan Zat Organik Air Gambut dengan Metode Koagulasi – Flokulasi Suasana Basa. *Riset Geologi dan Pertambangan Vol* 23 (2), 125 – 137(2013).
- [18] Sugiharto, 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [19] Christie, R.M. 2007, *Environmental Aspects of Textile Dyeing*, Woodhead, Boca Raton, Cambridge.
- [20] Azbar, N., Yonar, T., Kestioglu 2004, Comparison of Various Advanced Oxidation Processes and Chemical Treatment Methods for COD and Colour Removal from Polyester and Acetate Fiber Dying Effluent, *Chemosphere*, Vol. 55, hh. 81-86.
- [21] Wang, C.T., Chou, W.L., Kuo, Y.M. 2013, Removal of COD from Textile Wastewater by Electroflotation, *Journal of Hazardous Materials* Vol. 164, hh. 81-86.
- [22] PT FII, “Data Perusahaan,” 2023
- [23] Belkacem, M., Khodir, M., Sekki, A. 2007, Treatment Characteristics of textile wastewater and removal of Heavy Metal Using the Electroflotation Technique, *Desalination*, Vol. 228, hh. 245–254.
- [24] Standard Method. The Examination of Water and Wastewater 21st edition. American Public Health Association. Washington (2005).
- [25] Akbari, A., et al. Treatment of Textile Dye Effluent Using a Polyamide-Based NanoFiltration Membrane. *Chemical Engineering and Processing* 41, 601 – 609 (2002).

- [26] ♦ Rusydi, A.F., Marganingrum, D., Suherman, D., dan Sumawijaya, M. Pencemaran Airtanah Bebas Akibat Industri Pencelupan di Kampung Banaran, Sukoharjo, Jawa Tengah. Prosiding, Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi (2014).
- [27] ♦ Faust, S.D.dan O.M. Aly. (1998). Chemistry of Water Treatment. Lewis Publisher. USA.
- [28] Howe, J. K., et al. (2012). Principle of Water Treatment. John Wiley and Sons, Inc. New Jersey.
- [29] Tang, H., Xiao, F., dan Wang, D. Speciation, Stability, and Coagulation Mechanisms of Hydroxyl Aluminum Clusters Formed by PACl and Alum: A Critical Review. *Advances in Colloid and Interface Science* 226, 78–85 (2015).